

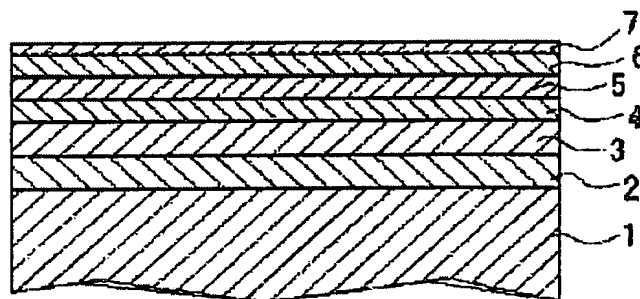
MAGNETIC RECORDING MEDIUM, METHOD OF MANUFACTURING FOR THE SAME AND MAGNETIC RECORDING AND REPRODUCING DEVICE

Patent number: JP2002197635
Publication date: 2002-07-12
Inventor: SHIMIZU KENJI; SAKAI HIROSHI; YO TERU;
 SAKAWAKI AKIRA
Applicant: SHOWA DENKO KK
Classification:
 - International: **G11B5/65; G11B5/66; G11B5/667; G11B5/72;
 G11B5/738; G11B5/851; G11B5/62; G11B5/64;
 G11B5/66; G11B5/72; G11B5/84; (IPC1-7): G11B5/66;
 G11B5/65; G11B5/667; G11B5/72; G11B5/738;
 G11B5/851**
 - european:
Application number: JP20000400272 20001228
Priority number(s): JP20000400272 20001228

Report a data error here

Abstract of JP2002197635

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magnetic recording medium which has excellent noise characteristics and heat resistant demagnetization characteristics, a method of manufacturing for the same and a magnetic recording and reproducing device.
SOLUTION: In the magnetic recording medium provided with at least a nonmanagement substrate 1 and a soft magnetic ground surface film 2, alignment control film 3 and vertical magnetic film 4 formed on this nonmanagement substrate 1, the alignment control film 3 and the vertical magnetic film 4 include a layer consisting of ≥ 1 layer of hcp structure of fcc structure, a soft magnetic film 5 consisting of a soft magnetic material is formed on the vertical magnetic film 4 and the soft magnetic film 5 and the vertical magnetic film 4 are exchange-bonded.



BEST AVAILABLE COPY

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-197635
(P2002-197635A)

(43) 公開日 平成14年7月12日 (2002. 7. 12)

| (51) Int.Cl. ⁷ | 識別記号 | F I | テ-マ-ト* (参考) |
|--------------------------------------|-------|--------------|-------------|
| G 1 1 B | 5/66 | G 1 1 B 5/66 | 5 D 0 0 6 |
| | 5/65 | 5/65 | 5 D 1 1 2 |
| | 5/667 | 5/667 | |
| | 5/72 | 5/72 | |
| | 5/738 | 5/738 | |
| 審査請求 未請求 請求項の数17 O L (全 16 頁) 最終頁に続く | | | |

(21) 出願番号 特願2000-400272 (P2000-400272)

(22) 出願日 平成12年12月28日 (2000. 12. 28)

(71) 出願人 000002004

昭和電工株式会社

東京都港区芝大門1丁目13番9号

(72) 発明者 清水 謙治

千葉県市原市八幡海岸通5番の1 昭和電
工エイチ・ディー株式会社内

(72) 発明者 酒井 浩志

千葉県市原市八幡海岸通5番の1 昭和電
工エイチ・ディー株式会社内

(74) 代理人 100064908

弁理士 志賀 正武 (外6名)

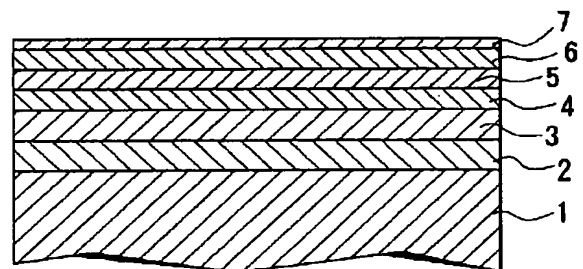
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気記録媒体、その製造方法および磁気記録再生装置

(57) 【要約】

【課題】 ノイズ特性に優れ、かつ耐熱減磁特性に優れた磁気記録媒体、その製造方法、および磁気記録再生装置を提供する。

【解決手段】 少なくとも非磁性基板1と、該非磁性基板1上に形成された軟磁性下地膜2と、配向制御膜3と、垂直磁性膜4とを備える磁気記録媒体において、前記配向制御膜3と垂直磁性膜4は、1層以上のh c p構造またはf c c構造からなる層を含み、前記垂直磁性膜4上には、軟磁性材料からなる軟磁性膜5が形成されており、該軟磁性膜5と垂直磁性膜4とが交換結合している構成とした磁気記録媒体およびその製造方法、並びに磁気記録再生装置。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも非磁性基板と、該非磁性基板上に形成された軟磁性下地膜と、配向制御膜と、垂直磁性膜とを備える磁気記録媒体において、前記配向制御膜と垂直磁性膜は、1層以上のhcp構造またはfcc構造からなる層を含み、前記垂直磁性膜上には、軟磁性材料からなる軟磁性膜が形成されており、該軟磁性膜と垂直磁性膜とが交換結合していることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項2】 軟磁性膜の飽和磁束密度 B_s (T)と、膜厚 t (nm)の積 $B_s \cdot t$ (T・nm)が、0.5 (T・nm)以上7.2 (T・nm)以下の範囲であることを特徴とする請求項1に記載の磁気記録媒体。

【請求項3】 軟磁性膜の飽和磁束密度 B_s (T)と、膜厚 t (nm)の積 $B_s \cdot t$ (T・nm)が、0.5 (T・nm)以上3.6 (T・nm)以下の範囲であることを特徴とする請求項2に記載の磁気記録媒体。

【請求項4】 軟磁性膜の飽和磁束密度 B_s (T)が、0.4 (T)以上であることを特徴とする請求項1ないし3のいずれか1項に記載の磁気記録媒体。

【請求項5】 軟磁性膜の膜厚が、0.5 nm以上5 nm以下であることを特徴とする請求項1ないし4のいずれか1項に記載の磁気記録媒体。

【請求項6】 軟磁性膜の膜厚が、0.5 nm以上3 nm以下であることを特徴とする請求項5に記載の磁気記録媒体。

【請求項7】 軟磁性膜が、Coを80 at %以上含有し、Zr、Ta、Nb、Yから選ばれる少なくとも1種以上の元素を2 at %以上含有し、0.8 (T)以上の飽和磁束密度 B_s (T)を有していることを特徴とする請求項1ないし6のいずれか1項に記載の磁気記録媒体。

【請求項8】 軟磁性膜が、Feを60 at %以上含有し、Zr、Ta、Al、Si、Hfから選ばれる少なくとも1種以上の元素を2 at %以上含有し、0.8 (T)以上の飽和磁束密度 B_s (T)を有することを特徴とする請求項1ないし6のいずれか1項に記載の磁気記録媒体。

【請求項9】 軟磁性膜が、Feを60 at %以上含有し、O、N、B、Cから選ばれる少なくとも1種以上の元素を2 at %以上含有し、0.8 (T)以上の飽和磁束密度 B_s (T)を有することを特徴とする請求項1ないし6のいずれか1項に記載の磁気記録媒体。

【請求項10】 軟磁性下地膜の飽和磁束密度 B_s (T)と、膜厚 t (nm)の積 $B_s \cdot t$ (T・nm)が、40 (T・nm)以上であることを特徴とする請求項1ないし9のいずれか1項に記載の磁気記録媒体。

【請求項11】 軟磁性膜の垂直磁性膜と反対側の表面の一部または全面が、酸化されていることを特徴とする請求項1ないし10のいずれか1項に記載の磁気記録媒

体。

【請求項12】 軟磁性膜の直上に保護膜が設けられており、該保護膜がCVD法またはイオンビーム法によって形成されてなるものであることを特徴とする請求項1ないし11のいずれか1項に記載の磁気記録媒体。

【請求項13】 保護膜の膜厚が5 nm以下であることを特徴とする請求項12に記載の磁気記録媒体。

【請求項14】 非磁性基板上に、少なくとも軟磁性下地膜と、配向制御膜と、磁化容易軸が前記非磁性基板と主に垂直に配向した垂直磁性膜とを成膜法により積層形成する磁気記録媒体の製造方法であって、前記垂直磁性膜上に軟磁性材料からなる軟磁性膜を形成する工程を含むことを特徴とする磁気記録媒体の製造方法。

【請求項15】 軟磁性膜を形成した後、該軟磁性膜の表面を酸化させる工程を含むことを特徴とする請求項14に記載の磁気記録媒体の製造方法。

【請求項16】 磁気記録媒体と、該磁気記録媒体に対して情報の記録再生を行う磁気ヘッドとを備え、磁気記録媒体が、非磁性基板と、磁化容易軸が前記非磁性基板と主に垂直に配向した垂直磁性膜とを備え、前記基板と垂直磁性膜との間に該垂直磁性膜の配向を制御するための配向制御膜と、再生波形の形状を制御するための軟磁性下地膜とが設けられており、前記垂直磁性膜上に軟磁性材料からなる軟磁性膜が成膜されてなるものであることを特徴とする磁気記録再生装置。

【請求項17】 前記軟磁性膜の直上に保護膜が設けられており、該保護膜がCVD法またはイオンビーム法によって形成されてなるものであることを特徴とする請求項16に記載の磁気記録再生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、磁化容易軸が基板に対し主に垂直に配向した垂直磁性膜を有する磁気記録媒体、その製造方法、および磁気記録再生装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 現在市販されている磁気記録媒体は、磁性膜内の磁化容易軸が主に基板に対し水平に配向した面内磁気記録媒体がほとんどである。面内磁気記録媒体において、高記録密度化を実現するには、磁性粒子を小粒径化しノイズ低減を図ることが必要となるが、磁性粒子の粒径を小さくすると、この粒子の体積が小さくなるため、熱揺らぎに起因する再生特性の悪化が生じやすくなる。また記録密度を高めた際に、記録ビット境界での反磁界の影響により媒体ノイズが増加することがある。これに対し、磁性膜内の磁化容易軸が主に基板に対し垂直に配向した、いわゆる垂直磁気記録媒体は、高記録密度化した場合でもビット境界での反磁界の影響が小さく、境界が鮮明な記録磁区が形成されるため低ノイズ化が可

能である。さらに、垂直磁気記録媒体は、比較的磁性粒子の体積が大きくても高記録密度化が可能であるため熱揺らぎ耐性を高めることができることから、近年大きな注目を集めている。例えば、特開昭60-214417号公報には、Co合金からなる垂直磁性膜の下地膜の材料としてGe、Siを用いた垂直磁気記録媒体が開示されている。また特開昭63-211117号公報には、Co合金からなる垂直磁性膜の下地膜として1~100 Åの厚さの炭素含有材料膜を形成した垂直磁気記録媒体が開示されている。しかしながら、これら従来の磁気記録媒体では、角型比を高めるのが難しく、逆磁区核形成磁界H_nが低くなる問題があった。このため、低記録密度における熱揺らぎ耐性に劣る問題があった。これに対し、H_nを向上させ得る磁気記録媒体として、遷移金属(Coなど)と貴金属(Ptなど)とを多層に積層した多層膜を設けた磁気記録媒体が提案されている。(特開平6-111403号公報、特開平8-30951号公報、US5660930)

【0003】また、特許第2615144号公報には、垂直磁性膜上に軟磁性材料からなる層を10nm~100nmの範囲で形成することにより、磁気ヘッドと磁気記録媒体との距離を低減する効果が得られることが報告されている。しかし、10nm~100nmという厚さの軟磁性材料の層を設けると、記録層である垂直磁性膜からの漏れ磁界は、この軟磁性材料の層の内部を通過して磁気ヘッドに検知されることになる。この結果、磁気ヘッドに検知される漏れ磁界が大きく減少し、再生出力が低下するという問題が生じる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】近年では、磁気記録媒体の更なる高記録密度化が要望されており、これに伴い記録再生特性の向上が要求されている。記録再生特性を向上させるためには、磁性膜の薄膜化が必要であり、熱減磁に対して比較적으로有利な垂直記録媒体といえども熱減磁の問題が浮上する。本発明は、上記事情に鑑みてなされたもので、記録再生特性に優れ、かつ耐熱減磁特性に優れる磁気記録媒体、その製造方法、および磁気記録再生装置を提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明は以下の構成を採用した。本発明の磁気記録媒体は、少なくとも非磁性基板と、該非磁性基板上に形成された軟磁性下地膜と、配向制御膜と、垂直磁性膜とを備える磁気記録媒体において、前記配向制御膜と垂直磁性膜は、1層以上のhcp構造またはfcc構造からなる層を含み、前記垂直磁性膜上には、軟磁性材料からなる軟磁性膜が形成されており、該軟磁性膜と垂直磁性膜とが交換結合していることを特徴とするこのような構成とすることにより、耐熱減磁特性に優れ、かつ高出力の磁気記録媒体が得られる。

【0006】次に、本発明の磁気記録媒体は、軟磁性膜の飽和磁束密度B_s(T)と、膜厚t(nm)の積B_s・t(T・nm)が、0.5(T・nm)以上7.2(T・nm)以下の範囲であることが好ましい。次に、本発明の磁気記録媒体は、軟磁性膜の飽和磁束密度B_s(T)と、膜厚t(nm)の積B_s・t(T・nm)が、0.5(T・nm)以上、3.6(T・nm)以下の範囲であることが好ましい。次に、本発明の磁気記録媒体は、軟磁性膜の飽和磁束密度が、0.4T以上であることが好ましい。次に、本発明の磁気記録媒体は、軟磁性膜の膜厚が、0.5nm以上5nm以下であることが好ましい。次に、本発明の磁気記録媒体は、軟磁性膜の膜厚が、0.5nm以上3nm以下であることを特徴とする。

【0007】次に、本発明の磁気記録媒体は、軟磁性膜がCoを80at%以上含有し、Zr、Ta、Nb、Yから選ばれる少なくとも1種以上の元素を2at%以上含有し、0.8(T)以上の飽和磁束密度B_s(T)を有していることが好ましい。次に、本発明の磁気記録媒体は、軟磁性膜が、Feを60at%以上含有し、Zr、Ta、Al、Si、Hfから選ばれる少なくとも1種以上の元素を2at%以上含有し、0.8(T)以上の飽和磁束密度B_s(T)を有することが好ましい。次に、本発明の磁気記録媒体は、軟磁性膜が、Feを60at%以上含有し、O、N、B、Cから選ばれる少なくとも1種以上の元素を2at%以上含有し、0.8(T)以上の飽和磁束密度B_s(T)を有することが好ましい。

【0008】次に、本発明の磁気記録媒体は、軟磁性下地膜の飽和磁束密度B_s(T)と、膜厚t(nm)の積B_s・t(T・nm)が、40(T・nm)以上であることが好ましい。

【0009】上記のような構成とすることにより、前記軟磁性膜や軟磁性下地膜の特性を最適化することができるので、記録再生特性に優れ、かつより優れた耐熱減磁特性を有する磁気記録媒体が得られる。

【0010】次に、本発明の磁気記録媒体は、軟磁性膜の垂直磁性膜と反対側の面の一部または全面が、酸化されていることを特徴とする。このような構成とすることにより、磁気記録媒体の記録再生特性を向上させることができる。

【0011】次に、本発明の磁気記録媒体は、軟磁性膜の直上に保護膜が設けられており、該保護膜がCVD法またはイオンビーム法によって形成されてなるものであることを特徴とする。次に、本発明の磁気記録媒体は、保護膜の膜厚が5nm以下であることを特徴とする。このような構成とすることにより、保護膜を薄くして高密度の記録再生が可能である。

【0012】次に、本発明の磁気記録媒体の製造方法は、非磁性基板上に、少なくとも軟磁性下地膜と、配向

制御膜と、磁化容易軸が前記非磁性基板と主に垂直に配向した垂直磁性膜とを成膜法により積層形成する磁気記録媒体の製造方法であって、前記垂直磁性膜上に軟磁性材料からなる軟磁性膜を形成する工程を含むことを特徴とする。このような構成とすることにより、耐熱減磁特性に優れた磁気記録媒体を製造することができる。

【0013】次に、本発明の磁気記録媒体の製造方法は、軟磁性膜を形成した後、該軟磁性膜の表面を酸化させる工程を含むことを特徴とする。このような構成とすることにより、優れた記録再生特性を有する磁気記録媒体を容易に製造することができる。

【0014】次に、本発明の磁気記録再生装置は、磁気記録媒体と、該磁気記録媒体に対して情報の記録再生を行う磁気ヘッドとを備え、磁気記録媒体が、非磁性基板と、磁化容易軸が前記非磁性基板と主に垂直に配向した垂直磁性膜とを備え、前記基板と垂直磁性膜との間に該垂直磁性膜の配向を制御するための配向制御膜と、再生波形の形状を制御するための軟磁性下地膜とが設けられており、前記垂直磁性膜上に軟磁性材料からなる軟磁性膜が成膜されてなるものであることを特徴とする。このような構成とすることにより、高記録密度での情報の記録、再生が可能であり、かつ耐熱減磁特性に優れた磁気記録再生装置が得られる。

【0015】次に、本発明の磁気記録再生装置は、軟磁性膜の直上に保護膜が設けられており、該保護膜がCVD法またはイオンビーム法によって形成されてなるものであることを特徴とする。このような構成とすることにより、磁気ヘッドと垂直磁性膜とのスペーシングを小さくしてより高密度の情報の記録再生が可能な磁気記録装置が得られる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。図1は、本発明の一実施の形態である磁気記録媒体の構成を模式的に示す断面構成図である。図1に示すように、本実施の形態の磁気記録媒体は、非磁性の基板1上に軟磁性下地膜2と、配向制御膜3と、垂直磁性膜4と、軟磁性膜5と、保護膜6と、潤滑膜7とから概略構成されている。基板1としては、磁気記録媒体用基板として一般に用いられているNiPメッキ膜を有するアルミニウム合金基板のほか、ガラス基板（結晶化ガラス、強化ガラスなど）、セラミックス基板、カーボン基板、シリコン基板、シリコンカーバイド基板などを挙げることができる。あるいはこれらの基板にNiP膜をメッキあるいはスパッタ法などにより形成した基板などをあげることができる。基板1の表面の平均粗さRaは、0.01~2nm（より好ましくは0.05~1.5nm）が好ましい。この範囲を越えるとグライド特性が不十分となるからである。この範囲未満となるとヘッドの吸着またはヘッド振動が起りやすくなるからである。

【0017】軟磁性下地膜2は、情報を記録する垂直磁性膜4の磁化をより強固に基板1と垂直な方向に固定するために設けられているものである。この作用は、特に記録再生用の磁気ヘッドとして垂直記録用の単磁極ヘッドを用いる場合により顕著なものとなる。図2に一般的な構成の単磁極ヘッドの構成図を示す。この図に示すように単磁極ヘッド10は、磁極11と、コイル12とから概略構成されている。磁極11は、側面視略コ字状を成して構成されており、細く形成されている側が主磁極13とされ、他方が補助磁極14とされている。そして、主磁極13は、記録時に磁気記録媒体の垂直磁性膜に印加される磁界を発生し、再生時には垂直磁性膜からの磁束を検出するようになっている。

【0018】上記の単磁極ヘッド10を用いて、図1に示す磁気記録媒体への記録時に主磁極13の先端から発生された磁束は、磁気記録媒体の垂直磁性膜4を基板1と垂直な方向に磁化させる。ここで図1に示す磁気記録媒体には軟磁性下地膜2が設けられているので、単磁極ヘッド10の主磁極13からの磁束は、垂直磁性膜4、軟磁性下地膜2を通じて補助磁極14へと導かれ、閉磁路を形成する。このような閉磁路が単磁極ヘッド10と磁気記録媒体との間に形成されることにより、磁束の出入りの効率が増し、高密度の記録再生が可能になる。尚、軟磁性膜2と補助磁極14との間の磁束は、主磁極13と軟磁性膜2との間の磁束とは逆向きになるが、補助磁極14の面積は主磁極13に比べて十分に広いので、補助磁極14からの磁束密度は十分に小さくなり、この補助磁極14からの磁束により垂直磁性膜4の磁化が影響を受けることはない。

【0019】上記軟磁性下地膜2を構成する材料としては、Feを60at%以上含有するFe合金を用いることができる。具体的には、特に限定されるものではないが、FeCo系合金（FeCo、FeCoVなど）、FeNi系合金（FeNi、FeNiMo、FeNiCr、FeNiSiなど）、FeAl系合金（FeAl、FeAlSi、FeAlSiCr、FeAlSiTiRuなど）、FeCr系合金（FeCr、FeCrTi、FeCrCuなど）、FeTa系合金（FeTa、FeTaCなど）、FeC系合金、FeN系合金、FeSi系合金、FeP系合金、FeNb系合金、FeHf系合金、などを挙げることができる。また、軟磁性下地膜2を構成する材料としては、FeAlO、FeMgO、FeTa₂N、FeZrNなどの微細結晶、あるいは微細な結晶粒がマトリクス中に分散されたグラニューラー構造を有する膜を用いることもできる。軟磁性下地膜2には、上記のほかCoを80at%以上含有し、Zr、Nb、Ta、Cr、Mo等のうち少なくとも1種以上を含有しているCo合金を用いることができる。例えば、CoZr、CoZrNb、CoZrTa、CoZrCr、CoZrMoなどを好適なものとして挙げることができる。

また、軟磁性下地膜 2 は、アモルファス構造を有する合金を挙げることができる。

【0020】軟磁性下地膜 2 は、その飽和磁束密度が 0.8 T 以上であることが好ましい。これは、飽和磁束密度が 0.8 T より小さい場合には再生波形の制御効果を十分に得られないためである。また、軟磁性下地膜 2 の保磁力は可能な限り小さくすることが好ましいが、実用的には 200 (Oe) ($15.8 \times 10^3 \text{ A/m}$) より小さくすればよい。軟磁性下地膜 2 の膜厚は、軟磁性下地膜 2 を構成する材料の飽和磁束密度によって最適な厚さとされる。具体的には、軟磁性下地膜を構成する材料の飽和磁束密度 B_s (T) と、軟磁性下地膜 2 の膜厚 t (nm) の積である $B_s \cdot t$ (T·nm) が、40 (T·nm) 以上 (好ましくは 60 (T·nm) 以上) であることが望ましい。すなわち、 $B_s \cdot t$ を 60 (T·nm) とするならば、飽和磁束密度が 1 (T) の軟磁性材料を用いる場合には、軟磁性下地膜 2 の膜厚は 60 (nm) とすればよい。

【0021】上記軟磁性下地膜 2 の表面 (配向制御膜 3 側の面) は、上記軟磁性下地膜 2 を構成する材料が部分的、あるいは完全に酸化されて構成されていることが好ましい。つまり、軟磁性下地膜 2 の表面 (図 1 中、配向制御膜 3 側の面) およびその近傍に、軟磁性下地膜 2 を構成する材料 (例えば FeCo など) が部分的に酸化されるか、若しくは前記材料の酸化物を形成して配されていることが好ましい。このような構成とするならば、軟磁性下地膜 2 の最表面の磁気的な揺らぎを抑え、軟磁性下地膜 2 上に形成される配向制御膜 3 の結晶粒を微細化してノイズ特性の改善効果を得ることができる。また酸化されていることにより表面に酸化膜が形成され、そのバリア層の機能が働くことにより、軟磁性下地膜 2 または非磁性の基板 1 から腐食性物質が媒体表面に移動することを抑えることができる。その結果、媒体表面の腐食の発生を抑えることができる。

【0022】この軟磁性下地膜 2 表面の酸化された部分は、例えば軟磁性下地膜 2 を形成した後、酸素を含む雰囲気中に曝す方法や、軟磁性下地膜 2 の表面に近い部分を成膜する際のプロセスガス中に酸素を導入する方法により形成することができる。具体的には、軟磁性下地膜 2 の表面を酸素に曝す場合には、酸素単体、あるいは酸素をアルゴンなどの希ガスで希釈したガス雰囲気中に 0.1 秒～30 秒程度保持しておけばよい。また、軟磁性下地膜 2 の表面を大気中に曝すこともできる。導入する酸素の量、酸素への曝露時間を適宜設定することで酸化の度合いを調節することができる。例えば、 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ Pa の真空度に対して 10^{-3} Pa 以上の酸素ガス圧の雰囲気中に 0.1～30 秒間上記表面を曝すことで、所定の酸化状態を得ることができる。特に酸素をアルゴン等の希ガスで希釈したガスを用いる場合には、軟磁性下地膜 2 表面の酸化の度合いの調整が容易になるので、安定

した製造を行うことができる。また、軟磁性下地膜 2 の成膜用のプロセスガスに酸素を導入する場合には、例えば成膜法としてスパッタ法を用いるならば、成膜時間の一部のみに、酸素を導入したプロセスガスを用いてスパッタを行えばよい。このプロセスガスとしては、例えばアルゴンに酸素を体積率で 0.05%～10% 程度混合したガスが好適に用いられる。酸化膜の膜厚は、例えば透過型電子顕微鏡 (TEM) による断面図より求めることができる。または、酸化された状態はオージェ電子分光法、SIMS 法などにより確認することができる。

【0023】また、上記軟磁性下地膜 2 と基板 1 との間には、面内磁気異方性を有する硬磁性材料からなる硬磁性膜を設けることもできる。このような構成とするならば、軟磁性下地膜 2 が形成する巨大な磁区によるスパイクノイズの発生を防止して、エラーレート特性に優れ、高密度記録が可能な磁気記録媒体とすることができる。これは、以下の理由による。軟磁性下地膜 2 は、保磁力が小さく磁化の方向が変わりやすいために、基板 1 の面内方向に巨大な磁区を形成する。この軟磁性下地膜 2 中の磁区の境界である磁壁が、磁気ヘッドに検知されるとスパイクノイズとなり、磁気記録媒体のエラーレートを低下させる要因となる。そこで、上記硬磁性膜を軟磁性下地膜 2 と基板 1 との間に設けることにより、硬磁性膜と軟磁性下地膜 2 を交換結合させ、上記軟磁性膜 2 の磁化方向を強制的に基板 1 半径方向に向けて、上記のような巨大な磁区が形成されないようにすることができる。上記硬磁性膜に用いられる材料としては、遷移金属と希土類元素の合金からなる磁性材料を用いることが好ましく、具体的には、特に限定されるものではないが、CoCr 合金や CoSm 合金などを挙げることができる。また、この硬磁性膜は、軟磁性下地膜 2 が基板半径方向の磁壁を形成しないようにするため、基板中心から放射状の方向に磁化され、硬磁性膜と軟磁性下地膜 2 が交換結合していることが好ましい。

【0024】配向制御膜 3 は、後述する垂直磁性膜 4 の配向性や粒径を制御するために設けられており、fcc 構造材料や hcp 構造材料からなる構成、あるいは B2 構造やアモルファス構造の材料の層と fcc 構造材料や hcp 構造材料の層を積層した構成とすることができる。具体的には、特に限定されるものではないが、B2 構造のものとして NiAl、FeAl、CoFe、CoZr、NiTi、AlCoなどを挙げることができる。また、hcp 構造のものとして、Ti、Zr、Y、Zn、Ru、Re、Hfなどが適用可能であるほか、fcc 構造材料としては Ni、Pd、Pt、Al、Cu、Ag等を挙げることができる。あるいは、上記の材料に、その構造が変化しない程度に他の元素 (Cr、Mo、Si、Mn、W、Nb、Ti、Zr、B、C、N、Oからなる群から選ばれる 1 種または 2 種以上の元素) を添加してもよい。また、アモルファス構造のものとしては、

C、Si、Co等や、これらの合金を挙げることができる。

【0025】本発明の磁気記録媒体は、軟磁性下地膜2と、垂直磁性膜4との間に上記配向制御膜3を設けることにより、垂直磁性膜4を構成する結晶粒の微細化と、その垂直配向性の向上を実現している。その結果、本発明の磁気記録媒体は、ノイズ特性に優れ、かつ高出力である高密度記録に適した特性を有するものとなっている。配向制御膜3の膜厚は、50nm以下（より好ましくは30nm以下）であるのが好ましい。膜厚が上記範

【0026】垂直磁性膜4には、Co合金を用いることが好ましい。例えば、CoCrPt合金やCoPt合金、あるいはこれらの合金にTa、Zr、Nb、Cu、Re、Ru、V、Ni、Mn、Ge、Si、B、O、Nなどから選ばれる少なくとも1種または2種以上の元素を添加した合金を用いることができる。また、垂直磁性膜4はCo単体あるいはCo合金と、PtまたはPdとの積層構造とすることができる。このCo合金には、上記のCoCrPt系合金やCoPt系合金などを用いることができる。特に、CoCrPt系合金においては、垂直磁気異方性を高めるためにPt含有量を8~24at%とすることがより好ましい。上記に挙げたCo合金や、積層構造型の垂直磁性膜はいずれも多結晶膜を構成するが、本発明の磁気記録媒体は、非晶質構造の垂直磁性膜を適用することもできる。具体的には、特に限定されるものではないが、TbFeCo系合金などの希土類元素を含む合金を用いることができる。

【0027】垂直磁性膜4を上記の遷移金属（Co、Co合金）と貴金属元素（Pt、Pdなど）の多層構造とする場合には、貴金属元素からなる層は0.4nm以上、1.4nm以下の範囲とされることが好ましい。これは、層厚が0.4nmより小さくなると、保磁力（Hc）や逆磁区核生成磁界（Hn）が低下するとともにその層厚の制御が困難になるためであり、1.4nmより大きくくなると、ノイズ特性が悪化するためである。一方、遷移金属からなる層の厚さも貴金属元素からなる層と同様であり、その厚さは、好ましくは0.1nm以上0.6nm以下の範囲であり、より好ましくは0.1nm以上0.4nm以下の範囲である。これらの遷移金属層と貴金属層は、垂直磁性膜4においてどちらを最上層としてもかまわないが、最下層には貴金属層を配することが好ましい。尚、垂直磁性膜4の膜厚は、目的とする再生出力によって適宜最適化すればよいが、上記Co合金を用いる場合と、多層構造の磁性膜を用いる場合のい

ずれにおいても、厚すぎるとノイズ特性が悪化する、分解能が低下する等の問題があるので、実用上は3nm~100nm程度であることが好ましい。

【0028】上記配向制御膜3と、垂直磁性膜4の間には非磁性の元素からなる非磁性中間膜を設けることができる。このような構成とするならば、垂直磁性膜4の配向性を向上させて保磁力を向上させることができる。この非磁性中間膜には、特に限定されるものではないが、非磁性のCoCr合金や、CoCr合金にTa、Zr、Nb、Cu、Re、Ru、Ni、Mn、Ge、Si、O、N、Bから選ばれる1種または2種以上の元素を添加した合金を用いることができる。あるいは、CoとTa、Zr、Nb、Cu、Re、Ru、Ni、Mn、Ge、Si、O、N、Bから選ばれる1種または2種以上の元素とを合金化して非磁性合金としたものを用いることもできる。この非磁性中間膜の膜厚は、厚すぎると垂直磁性膜4と軟磁性下地膜2との距離が大きくなることにより分解能が低下し、ノイズ特性が悪化するので、20nm以下とするのが好ましく、10nm以下であることがより好ましい。

【0029】軟磁性膜5は、上記垂直磁性膜4上に形成された軟磁性材料からなる膜である。この軟磁性膜5を構成する材料としては、Coを80at%以上含有し、Zr、Ta、Nb、Yのうち少なくとも1種以上の元素を2at%以上含有し、0.8（T）以上の飽和磁束密度Bs（T）を有するCo合金を用いることが好ましい。このようなCo合金としては、例えば、CoZr、CoZrNb、CoZrTa、CoZrCr、CoNbY系合金などを好適なものとして挙げることができる。また、軟磁性膜5の材料としては、Feを60at%以上含有し、Ta、Zr、Al、Si、Hfのうち少なくとも1種以上の元素を2at%以上含有し、0.8

（T）以上の飽和磁束密度Bs（T）を有するFe合金を用いることが好ましい。このようなFe合金としては、FeAlSi、FeTaC、FeAlSiTiRu、FeHfO、FeTaN、FeZrO系合金などを挙げることができる。あるいはまた、軟磁性膜5の材料としては、Feを60at%以上含有し、O、N、B、Cのうち少なくとも1種以上の元素を2at%以上含有し、0.8（T）以上の飽和磁束密度Bs（T）を有するFe合金を用いることが好ましい。このようなFe合金としては、FeN、FeTaC、FeHfO、FeTaN、FeAlO、FeB、FeZrN系合金などの微細結晶、あるいは微細な結晶粒がマトリクス中に分散されたグラニューラ構造を有する材料を好適なものとして挙げることができる。また、軟磁性膜5はアモルファス構造を有する合金を挙げることができる。

【0030】この軟磁性膜5は、その飽和磁束密度が0.4T以上であることが好ましい。これは、飽和磁束密度が0.4Tより小さい場合には、垂直磁性膜4表面

の磁束の揺らぎを抑えるために過大な膜厚が必要になるとともに、垂直磁性膜4との交換結合が不十分になるおそれがあるためである。また、軟磁性膜5の保磁力は可能な限り小さくすることが好ましいが、実用的には200 (Oe) ($15.8 \times 10^3 \text{ A/m}$) より小さくすればよい。軟磁性膜5の膜厚は、軟磁性膜5を構成する材料の飽和磁束密度によって最適な厚さとされる。具体的には、軟磁性膜を構成する材料の飽和磁束密度 B_s

(T) と、軟磁性膜5の膜厚 t (nm) の積である $B_s \cdot t$ (T·nm) が、0.5 (T·nm) 以上、7.2 (T·nm) 以下の範囲とされることが好ましく、0.5 (T·nm) 以上、3.6 (T·nm) であることがより好ましい。すなわち、 $B_s \cdot t$ を2.4 (T·nm) とし、飽和磁束密度が1.2 (T) の軟磁性材料を用いる場合には、軟磁性下地膜2の膜厚は2 (nm) とすればよい。また、軟磁性膜5は保護膜6の直下に形成されるものであるため、その表面粗さ (Ra) が、ヘッド浮上量に影響する。従って、高密度記録に必要なヘッド浮上高さからその表面粗さ (Ra) は2 nmより小さいことが好ましい。

【0031】上記軟磁性膜5の表面 (図示保護膜6側の面) は、その一部または全面が酸化されている構成とすることが可能である。つまり、軟磁性膜5の表面またはその近傍に記された軟磁性膜5を構成する材料が、一部酸化されているか、若しくは上記材料の酸化物を形成している構成とすることができる。このような構成とするならば、軟磁性膜5と保護膜6との界面における軟磁性膜5の磁化の揺らぎを低減することができるので、ノイズ特性を向上させることができる。この軟磁性膜5表面の酸化は、上記軟磁性下地膜2と同様の手法により行うことができる。すなわち、酸素または酸素を含む雰囲気中に軟磁性膜5の表面を曝す方法や、希ガスに酸素を添加したプロセスガスによって軟磁性膜5を成膜する方法によって形成することができる。

【0032】保護膜6は、垂直磁性膜4の腐食を防ぐとともに、ヘッドが媒体に接触したときに媒体表面の損傷を防ぎ、かつヘッドと媒体の間の潤滑特性を確保するためのもので、従来公知の材料を使用することが可能であり、例えばC、SiO₂、ZrO₂の単一組成、またはこれらを主成分とし他元素を含むものが使用可能である。この保護膜4の厚さは、1 nm以上10 nm以下の範囲とされることが望ましい。また、潤滑膜7には、パーフルオロポリエーテル、フッ素化アルコール、フッ素化カルボン酸など公知の潤滑剤を使用することができる。その種類および膜厚は、使用される保護膜や潤滑剤の特性に応じて適宜最適な厚さに調整することが好ましい。

【0033】本発明の磁気記録媒体の特徴的な点は、上記のように、垂直磁性膜4と、保護膜6との間に軟磁性膜5が設けられていることである。この軟磁性膜5が設けられていることにより、耐熱減磁特性や再生出力を向

上させることができる。これは、以下に示す理由によると考えられる。まず、図1に示す磁気記録媒体に記録を行うと、垂直磁性膜4は、基板1と垂直な方向に磁化されるので垂直磁性膜4の内部に基板1と垂直な方向の磁界が形成される。そして、垂直磁性膜4の上方 (保護膜6側) への漏れ磁束が、ヘッドに感知されて再生出力となる。しかしながら、この漏れ磁束とともに、垂直磁性膜4の表面には磁束の揺らぎが存在しており、この揺らぎによって垂直磁性膜4の磁化が不安定になるものと推測される。本発明の磁気記録媒体のように垂直磁性膜4と保護膜6との間に軟磁性材料からなる軟磁性膜5が設けられており、かつ垂直磁性膜4と軟磁性膜5とが交換結合している場合には、垂直磁性膜4表面への漏れ磁束により軟磁性膜5内部が基板1に概ね水平な方向に磁化されて、垂直磁性膜4の磁化とともに閉磁路を形成する。従って、上記垂直磁性膜4表面の磁束の揺らぎはこの閉磁路に取り込まれて、垂直磁性膜4表面における磁束が安定する。これにより、揺らぎの影響を受けない垂直磁性膜4本来の再生出力が得られるとともに、上記揺らぎによる垂直磁性膜4の磁化への影響を防ぐことができるので、磁気記録媒体の耐熱減磁性が向上する。また、本発明の磁気記録媒体においては、図1に示すように垂直磁性膜4と基板1との間に軟磁性下地膜2が設けられているので、垂直磁性膜4の基板法線方向の磁化が、軟磁性膜5および軟磁性下地膜2を経由する閉磁路を磁気記録媒体内に形成する。これにより、より強固に垂直磁性膜4の磁化が固定されるので、耐熱減磁特性に優れた磁気記録媒体とすることができる。

【0034】軟磁性膜5は上記の効果を奏するが、過大な厚さの軟磁性膜5は垂直磁性膜4からの漏れ磁束を遮蔽することになり、結果として再生出力の低下、さらには再生出力の低下に伴う耐熱減磁性の低下の原因となる。従って、上記軟磁性膜5は厚さと磁束の遮蔽性とを適切に設定する必要がある。具体的には、先に述べたとおりであり、軟磁性膜5の飽和磁束密度 B_s (T) と、軟磁性膜5の膜厚 t (nm) との積 $B_s \cdot t$ (T·nm) が、0.5~10 (T·nm) の範囲であることが好ましく、0.5~5 (T·nm) であることがより好ましい。また、このように軟磁性膜5の飽和磁束密度とその厚さとの積を所定の範囲に設定することにより、軟磁性膜5による磁束の遮蔽性を、その材料によらず一定に制御することが可能になる。

【0035】次に、上記垂直磁性膜4と軟磁性膜5との交換結合について、図3ないし図7に示すM-H (磁化) 曲線を参照して以下に詳細に説明する。尚、以下の説明では、上記の交換結合とは直接関係しない軟磁性下地膜2の磁化を分離するために、軟磁性下地膜2を設けずに作製した磁気記録媒体の磁化曲線の測定結果を用いることとする。図3 (a) は、図1に示す磁気記録媒体

10

20

30

40

50

を構成する各層のうち、配向制御膜 3 と、軟磁性膜 5 と、保護膜 6 のみを成膜して作成した磁気記録媒体に、基板垂直方向の磁界を印加して測定した M-H 曲線であり、横軸は印加磁界の強度、縦軸は磁化を示している。そして、図 3 (a) 中の H_{ma} は飽和磁界を示す。図 3 (b) は、上記磁気記録媒体に基板面内方向の磁界を印加して測定した M-H 曲線であり、横軸は印加磁界の強度、縦軸は磁化を示している。そして、図 3 (b) 中の H_{mb} は飽和磁界、 H_{cab} は保磁力を示している。上記にて作製された磁気記録媒体の配向制御膜 3 および保護膜 6 は磁化を有しないものであるので、図 3 (a)、

(b) は、軟磁性膜 5 の M-H 曲線を示している。
 【0036】図 4 (a) は、図 1 に示す磁気記録媒体を構成する各層のうち、配向制御膜 3 と、垂直磁性膜 4 と、保護膜 6 のみを形成した磁気記録媒体に、基板垂直方向の磁界を印加して測定した M-H 曲線であり、横軸は印加磁界の強度、縦軸は磁化を示している。そして、図 4 (a) 中の H_{mba} は飽和磁界、 H_{cba} は保磁力を示している。図 4 (b) は、上記磁気記録媒体に基板面内方向の磁界を印加して測定した M-H 曲線であり、横軸は印加磁界の強度、縦軸は磁化を示している。そして、図 4 (b) 中の H_{mbb} は飽和磁界、 H_{cbb} は保磁力を示している。図 4 (a)、(b) に示すように、垂直磁性膜 4 は、基板垂直方向に大きな保磁力と磁化を有するとともに、基板面内方向の保磁力および磁化は垂直方向の磁化と比較して著しく小さいものである。

【0037】図 5 (a) は、図 1 に示す磁気記録媒体を構成する各層のうち、配向制御膜 3 と、垂直磁性膜 4 と、軟磁性膜 5 と、保護膜 6 のみを形成し、垂直磁性膜 4 と軟磁性膜 5 が交換結合するように構成した磁気記録媒体に、基板垂直方向の磁界を印加して測定した M-H 曲線であり、横軸は印加磁界の強度、縦軸は磁化を示している。そして、図 5 (a) 中の H_{ma} は飽和磁界、 H_{caa} は保磁力、 H_{nea} は磁化反転磁界を示している。図 5 (b) は、上記磁気記録媒体に基板面内方向の磁界を印加して測定した M-H 曲線であり、横軸は印加磁界の強度、縦軸は磁化を示している。そして、図 5 (b) 中の H_{mb} は飽和磁界、 H_{cab} は保磁力を示している。

【0038】図 6 (a) は、図 1 に示す磁気記録媒体を構成する各層のうち、配向制御膜 3 と、垂直磁性膜 4 と、保護膜 6 のみを形成し、垂直磁性膜 4 と軟磁性膜 5 が交換結合しないように構成した磁気記録媒体に、基板垂直方向の磁界を印加して測定した M-H 曲線であり、横軸は印加磁界の強度、縦軸は磁化を示している。そして、図 6 (a) 中の H_{mda} は飽和磁界、 H_{cda} は保磁力を示している。図 6 (b) は、上記磁気記録媒体に基板面内方向の磁界を印加して測定した M-H 曲線であり、横軸は印加磁界の強度、縦軸は磁化を示している。そして、図 3 (b) 中の H_{mb} は飽和磁界、 H_{cab} は保磁力を示している。

【0039】図 7 (a) は、図 1 に示す磁気記録媒体を構成する各層のうち、配向制御膜 3 と、垂直磁性膜 4 と、保護膜 6 のみを形成し、垂直磁性膜 4 の飽和磁化 (M_s) と残留磁化 (M_r) の比 M_r/M_s が 1 より小さくなるように構成した磁気記録媒体に、基板垂直方向の磁界を印加して測定した M-H 曲線であり、横軸は印加磁界の強度、縦軸は磁化を示している。そして、図 7 (a) 中の H_{ma} は飽和磁界、 H_{caa} は保磁力、 H_{nea} は磁化反転磁界を示している。図 7 (b) は、上記磁気記録媒体に基板面内方向の磁界を印加して測定した M-H 曲線であり、横軸は印加磁界の強度、縦軸は磁化を示している。そして、図 7 (b) 中の H_{mb} は飽和磁界、 H_{cab} は保磁力を示している。

【0040】まず、図 5 を参照して垂直磁性膜 4 と軟磁性膜 5 とが交換結合している磁気記録媒体について説明する。垂直磁性膜 4 と軟磁性膜 5 とが交換結合している磁気記録媒体の基板垂直方向に磁界を印加すると、図示されない初磁化曲線をたどって正方向に磁化される。そして印加磁界が飽和磁界 H_{ma} に達すると、磁気記録媒体の磁化は飽和して一定の値 (M_s) をとる。この M_s は図 4 (a) に示す垂直磁性膜 4 のみの M_s よりも大きなものである。この状態から逆に印加磁界を減少させると、図 5 (a) に示すように磁界 0 の点においても磁気記録媒体は飽和磁化 M_s を保っており、磁界 0 の点における M-H 曲線の傾きはほぼ 0 である。さらに印加磁界の向きを反転させて、負の方向の磁界を増加させると、磁界が磁化反転磁界 (H_{nea}) に達したところで、磁気記録媒体の磁化は急激に減少を始める (磁化反転が始まる)。このように、垂直磁性膜 4 と軟磁性膜 5 とが交換結合している磁気記録媒体においては、正から負へ磁化の向きが反転し始める磁界強度は 1 箇所 (H_{nea}) である。

【0041】次に、図 6 を参照して垂直磁性膜 4 と軟磁性膜 5 が交換結合していない磁気記録媒体について説明する。垂直磁性膜 4 と軟磁性膜 5 とが交換結合していない磁気記録媒体に、基板垂直方向の磁界を印加すると、図示されない初磁化曲線をたどって正方向に磁化される。そして印加磁界が飽和磁界 H_{mda} に達すると、磁気記録媒体の磁化は飽和して一定の値 (M_s) をとる。この状態から逆に印加磁界を減少させると、図 6 (a) に示すように軟磁性膜 5 の飽和磁界 H_{maa} (図 3 に示す軟磁性膜 5 の飽和磁界 H_{maa} と同一の値) で軟磁性膜の磁化反転が始まり、磁界 0 の点では、磁気記録媒体の磁化は上記 M_s よりも小さくなる。このことは、小さい外部磁場によっても磁気記録媒体の磁化が変化することを示しており、耐熱減磁特性にも劣る磁気記録媒体であることが予想される。さらに、印加磁界の向きを反転させて、負の方向の磁界を増加させると、印加磁界が磁化反転磁界 H_{nda} に達したところで、垂直磁性膜の反転が始まる。このように、垂直磁性膜 4 と軟磁性膜 5 とが交換

結合していない磁気記録媒体では、軟磁性膜5の磁化反転が始まる磁界と、垂直磁性膜4の磁化反転が始まる磁界の2箇所(H_{ma} と H_{nd})で磁化反転が起こる。このような磁気記録媒体では、垂直磁性膜4と軟磁性膜5の磁化が閉磁路を形成することによる垂直磁性膜4の安定化効果が低減されるばかりでなく、逆に軟磁性膜5を設けることにより垂直磁性膜4の磁化が不安定になるおそれがある。

【0042】また、図7に示す、垂直磁性膜4の飽和磁化(M_s)と残留磁化(M_r)の比 M_r/M_s が1より小さい磁気記録媒体の測定結果からも上記垂直磁性膜4と軟磁性膜5が交換結合していない磁気記録媒体と同様のことがいえる。すなわち、磁界0の点におけるM-H曲線の傾きが0ではないため、小さい磁界に対しても磁気記録媒体の磁化が変化し、外部磁場に対して不安定な磁気記録媒体であることがわかる。

【0043】以上から、垂直磁性膜4と軟磁性膜5とが交換結合している磁気記録媒体は、磁界0におけるM-H曲線の傾きがほぼ0であり、この傾きは軟磁性膜5を設けたことにより変化することがない。従って、このような磁気記録媒体においては、軟磁性膜5と垂直磁性膜4の磁化が閉磁路を形成することで垂直磁性膜4の磁化を安定化する効果が大きく、その結果体熱減磁特性を向上させることができる。その一方で、垂直磁性膜4と軟磁性膜5とが交換結合していない磁気記録媒体は、磁界0の近傍で軟磁性膜5の磁化反転が起こるために磁界0におけるM-H曲線の傾きが著しく大きくなり、垂直磁性膜4の磁化の、磁界に対する安定性が悪くなる。その結果、耐熱減磁特性も悪くなると考えられる。すなわち、垂直磁性膜4上に軟磁性膜5を設けた磁気記録媒体においては、垂直磁性膜4と軟磁性膜5とを交換結合させることが必須であり、この要件を満たさない場合には、軟磁性膜5を設けない場合よりも垂直磁性膜4の磁化の安定性が低下する可能性がある。

【0044】また、軟磁性膜5は、特にCVD法や、イオンビーム法によって形成されたカーボン膜を保護膜6に適用する場合に格別な効果を奏するものである。つまり、上記CVDカーボン膜やイオンビームカーボン膜を保護膜6とする場合には、通常のカーボン薄膜よりも硬度に優れるものであるため、その膜厚を薄くして垂直磁性膜4と磁気ヘッドとのスペーシングを小さくすることができる。しかしながら、その一方でこれらの薄膜はいわゆるDLC(ダイヤモンドライクカーボン)膜であり、絶縁体であるためにその表面が極めて帯電しやすくなっている。そして、この表面に滞留した電荷による磁界が垂直磁性膜4の磁化を不安定にする可能性がある。そこで、本発明の磁気記録媒体は軟磁性膜5を備えているため、この保護膜6表面の電荷による磁界を軟磁性膜5が遮蔽して、垂直磁性膜4の磁化を保護する役割を担う。これにより、本発明の磁気記録媒体は、極めて薄い

CVDカーボン膜やイオンビームカーボン膜を保護膜に用いる場合にも耐熱減磁特性を劣化させることがなく、上記保護膜6の膜厚が5nm以下と極めて薄く、垂直磁性膜4が保護膜6表面の電荷の影響を受けやすくなっている場合に本発明に係る軟磁性膜5は特に有効である。

【0045】上記の構成の磁気記録媒体を製造するには、図1に示す基板1上にスパッタ法などにより軟磁性下地膜2を形成し、その後必要に応じてこの軟磁性膜2の表面に酸化処理を施し、次いで配向制御膜3、垂直磁性膜4、軟磁性膜5、保護膜6を順次スパッタ法などにより成膜する。次いで、ディップコーティング法、スピンコート法などにより潤滑膜7を形成する。尚、上記磁気記録媒体の製造方法においては、必要に応じて基板1と軟磁性下地膜2との間に硬磁性膜を形成する工程や、配向制御膜3と垂直磁性膜4との間に非磁性中間膜を形成する工程や、軟磁性膜5の表面を酸化処理する工程を含むこともできる。

【0046】上記磁気記録媒体の製造方法において、垂直磁性膜4としてCoまたはCo合金と、PtやPdまたはこれらの合金との多層構造の磁性膜を適用する場合には、CoまたはCo合金の材料からなる第1のターゲットと、Ptおよび/またはPdからなる第2のターゲットを交互に用いて、それぞれのターゲットの材料を交互にスパッタすることにより垂直磁性膜4を構成する。

【0047】また、軟磁性下地膜2や軟磁性膜5の表面に酸化処理を施す場合には、酸素、またはアルゴンなどに酸素を混合した混合ガスの雰囲気下に所定の時間保持することにより、軟磁性下地膜2や軟磁性膜5の表面の酸化度やこれらの表面への酸素の付着量を調整する。あるいは、上記軟磁性下地膜2や軟磁性膜5の成膜後に、これらの成膜に用いられるターゲットと同等のターゲットを用いて、プロセスガスとして希ガス(アルゴンなど)に酸素を混合したガスをを用いてスパッタすることにより、軟磁性下地膜2や軟磁性膜5上に、酸素を含有する層を形成しても良い。あるいはまた、上記軟磁性下地膜2や軟磁性膜5の成膜中に、特定の時間のみプロセスガスに酸素を混入させてもよい。具体的には、例えば軟磁性下地膜2をアルゴンによるスパッタで成膜する場合には、成膜時間の一部(例えば成膜終了前の1秒間)にのみアルゴンに酸素を混入させてスパッタを行えばよい。

【0048】保護膜6の形成方法としては、カーボンターゲットを用いたスパッタや、CVD法、イオンビーム法を用いてカーボン膜を形成する方法を用いることができる。また、 SiO_2 や ZrO_2 のターゲットを用いたRFスパッタ、あるいはSiやZrのターゲットを用いながらプロセスガスとして酸素を含むガスをを用いる反応性スパッタにより SiO_2 や ZrO_2 の薄膜を形成する方法などを適用することができる。本発明は、保護膜6としてCVD法やイオンビーム法を用いることが好ましい。

これらの成膜法を用いるならば、極めて硬度の大きい優れた特性を有する保護膜6を構成することができるとともに、その膜厚を従来のカーボン膜よりも大幅に薄くすることが可能であるので、垂直磁性膜4と情報の記録再生に用いられる磁気ヘッドとのスペーシングを小さくして高密度の記録再生を行うことができる。

【0049】図8は、本発明に係る磁気記録再生装置の一例を示す断面構成図である。この図に示す磁気記録再生装置は、図1に示す磁気記録媒体と同等の構成の磁気記録媒体20と、この磁気記録媒体20を回転駆動させる媒体駆動部21と、磁気記録媒体20に対して情報の記録再生を行う磁気ヘッド22と、ヘッド駆動部23と、記録再生信号処理系24とを備える構成である。記録再生信号系24は、入力されたデータを処理して記録信号を磁気ヘッド22に送ったり、磁気ヘッド22からの再生信号を処理してデータを出力することができるようになっている。

【0050】また、本発明の磁気記録再生装置においては、磁気記録媒体20に含まれる保護膜がCVDカーボン膜やイオンビームカーボン膜から構成されていることが好ましい。このような構成とすることにより磁気ヘッドと磁気記録媒体の磁性膜とのスペーシングを小さくして高密度の記録再生が可能になるとともに、上記のように磁気記録媒体に軟磁性膜が設けられているので、耐熱減磁特性に優れたものである。

【0051】特に、上記磁気再生機録装置において、磁気ヘッドとして単磁極ヘッドを用いるならば、単磁極ヘッドと磁気記録媒体の間に、閉磁路が形成されることにより磁気記録媒体への磁束の出入りの効率が著しく向上し、垂直磁性膜への記録の際に磁化を強固に固定することができるので、より高密度の記録再生が可能である。

【0052】

【実施例】以下、実施例を用いて本発明の効果を明らかにする。ただし、本発明は以下の実施例に限定されるものではない。

<実施例1>まず、洗浄済みのガラス基板（オハラ社製、外径2.5インチ）をDCマグネトロンスパッタ装置（アネルバ社製 C-3010）の成膜チャンバ内に收容し、到達真空度 1×10^{-5} Paとなるまで成膜チャンバ内を排気した後、このガラス基板上に89Co-4Zr-7Nbのターゲットを用いて基板温度100℃以下の条件で軟磁性下地膜を形成した。次いで、基板を200℃まで加熱し、上記軟磁性下地膜上に、50Ni-50Alターゲットを用いて8nm、Ruターゲットを用いて20nmの積層構造の配向制御膜を形成し、その後、62Co-20Cr-14Pt-4Bターゲットを用いて30nmの垂直磁性膜を形成した。次に、89C

o-4Zr-7Nbターゲットを用いて2nmの軟磁性膜を形成した。この軟磁性膜の飽和磁束密度Bs（T）と軟磁性膜の膜厚t（nm）の積Bs・t（T・nm）は2.4（T・nm）である。尚、上記スパッタリング工程においては、成膜用のプロセスガスとしてアルゴンを用い、圧力0.5Paにて成膜した。次いで、CVD法により5nmのDLC膜からなる保護膜を形成した。次いで、保護膜6上にパーフルオロポリエーテルからなる潤滑膜をディップコーティング法により2nm形成した。以上の工程により実施例1の磁気記録媒体を得た。この磁気記録媒体について、垂直磁性膜と軟磁性膜が交換結合していることを、振動式磁気特性測定装置（VSM）にて確認した。

【0053】<比較例1、2>次に、比較例1として、垂直磁性膜上の軟磁性膜を設けない以外は、上記実施例1と同様にして磁気記録媒体を作製した。次に、比較例2として垂直磁性膜とその上に形成された軟磁性膜とが交換結合しないようにした以外は、上記実施例1と同様にして磁気記録媒体を作製した。

【0054】上記実施例1および比較例1、2の磁気記録媒体について、記録再生特性および熱減磁特性の評価を行った。記録再生特性の評価は、GUZIK社製リードライトアナライザRWA-1632、スピンスタンドS1701MPを用いて行った。また、記録再生用のヘッドには再生部に巨大磁気抵抗（GMR）素子を有する複合型薄膜磁気記録ヘッドを用い、測定の線記録密度を再生は50kFCI、エラーレートは600kFCIとした。また、熱減磁特性の評価は、基板を70℃に加熱して線記録密度50kFCIにて書き込みを行った後、書き込み1秒後の出力に対する出力の低下率（%/decade）を、 $(S_0 - S) \times 100 / (S_0 \times 3)$ に基づいて算出した。尚、 S_0 は磁気記録媒体に信号記録後1秒経過時の再生出力を示し、Sは1000秒後の再生出力を示す。

【0055】上記の測定結果を表1に示す。表1に示すように本発明の要件を満たす実施例1の磁気記録媒体は、軟磁性膜が成膜されていない比較例1の磁気記録媒体、および軟磁性膜と垂直磁性膜が交換結合していない比較例2の磁気記録媒体よりも、再生出力、エラーレート、および熱減磁特性において優れたものとなっている。特に、軟磁性膜と垂直磁性膜が交換結合していない比較例2の磁気記録媒体は、軟磁性膜を設けていない比較例1の磁気記録媒体よりもエラーレートが劣るものであった。

【0056】

【表1】

| | Bs・t (T・nm) | 再生出力 (μ V) | エラーレート (10 ^x) | 熱減磁 (%/decade) |
|------|----------------|--------------------|------------------------------|-------------------|
| 実施例1 | 2.4 | 1820 | -6.8 | 0.45 |
| 比較例1 | - | 1500 | -6.2 | 1.45 |
| 比較例2 | 2.4 | 1620 | -5.8 | 1.17 |

【0057】＜実施例2～8＞次に、実施例2～8として、配向制御膜を表2に示す組成と膜厚とした以外は上記実施例1と同様にして磁気記録媒体を作製した。これらの磁気記録媒体についてVSMの測定を行った結果、いずれの磁気記録媒体も垂直磁性膜と軟磁性膜が交換結合していることが確認された。上記実施例2～8の磁気記録媒体について、上記実施例1と同様に記録再生特性および熱減磁特性を評価した。その結果を表2に示す。

尚、表2には実施例1の磁気記録媒体の測定結果も併記した。表2に示すように、本発明の要件を満たす実施例2～8の磁気記録媒体は、配向制御膜の組成を種々に変更しても再生出力、エラーレート、耐熱減磁特性のいずれにおいても優れた特性を示すことが確認された。

【0058】

【表2】

| | 配向制御膜 | Bs・t (T・nm) | 再生出力 (μ V) | エラーレート (10 ^x) | 熱減磁 (%/decade) |
|------|-------------|----------------|--------------------|------------------------------|-------------------|
| 実施例1 | NiAl/Ru | 2.4 | 1820 | -6.8 | 0.45 |
| 実施例2 | Ru | 2.4 | 1770 | -6.4 | 0.47 |
| 実施例3 | Ru30Cr | 2.4 | 1800 | -6.8 | 0.51 |
| 実施例4 | Ni15Cr | 2.4 | 1880 | -6.8 | 0.39 |
| 実施例5 | Cu | 2.4 | 1720 | -6.2 | 0.41 |
| 実施例6 | NiAl/Ni15Cr | 2.4 | 1840 | -7.0 | 0.42 |
| 実施例7 | Co40Zr/Ru | 2.4 | 1720 | -6.6 | 0.51 |
| 実施例8 | C/Ni15Cr | 2.4 | 1770 | -6.3 | 0.52 |

【0059】＜実施例9～12＞次に、実施例9～12として、軟磁性膜の飽和磁束密度Bs (T)と、その膜厚t (nm)の積Bs・t (T・nm)を表3に示すように1～10 (T・nm)の範囲で変化させて磁気記録媒体を作製した。尚、上記軟磁性膜のBs・t以外の構成、および作製工程は実施例1と同様とした。これらの磁気記録媒体についてVSMの測定を行った結果、いずれの磁気記録媒体も垂直磁性膜と軟磁性膜が交換結合していることが確認された。

【0060】上記実施例9～12の磁気記録媒体について、上記実施例1と同様に記録再生特性および耐熱減磁特性を評価した。その結果を表3に示す。尚、表3には実施例1の磁気記録媒体の測定結果も併記する。表3に示す測定結果から、軟磁性膜のBs・t (T・nm)が、0.5nm以上7.2nm以下の範囲にある実施例

1、実施例9～11の磁気記録媒体は、再生出力、耐熱減磁特性において、比較例1の磁気記録媒体よりも優れていることが確認された。特に、軟磁性膜のBs・t (T・nm)が、0.5nm以上3.6nm以下の範囲にある実施例1、9の磁気記録媒体は、上記に加えてエラーレートも良好であることが確認された。一方、軟磁性膜のBs・t (T・nm)が、本発明の要件を満たさない実施例12の磁気記録媒体は、表1に示す比較例1の磁気記録媒体より再生出力、耐熱減磁特性が劣るものであった。これは、軟磁性膜厚が厚すぎることにより磁気ヘッドに検知される垂直磁性膜の漏れ磁束が減少したことと、軟磁性膜に起因する媒体ノイズが増大したことによると考えられる。

【0061】

【表3】

| | Bs・t (T・nm) | 再生出力 (μ V) | エラーレート (10 ^x) | 熱減磁 (%/decade) |
|------|----------------|--------------------|------------------------------|-------------------|
| 実施例1 | 2.4 | 1820 | -6.8 | 0.45 |
| 実施例2 | 1 | 1680 | -6.2 | 0.57 |
| 実施例3 | 5 | 1750 | -5.8 | 0.55 |
| 実施例4 | 7 | 1550 | -5.6 | 0.68 |
| 実施例5 | 10 | 1450 | -5.0 | 0.98 |

【0062】＜実施例13～16＞次に、この軟磁性膜の飽和磁束密度Bs (T)と、膜厚t (nm)の積Bs・t (T・nm)を2.4nmに固定して、軟磁性膜の飽和磁束密度Bs (T)をそれぞれ0.3T、0.4

T、1.2T、2.0T、2.4Tとなるように成膜した以外は上記実施例1と同様にして実施例の磁気記録媒体を作製した。

【0063】上記実施例13～16の磁気記録媒体につ

いて、上記実施例 1 と同様に記録再生特性および熱減磁特性を評価した。その結果を表 4 に示す。尚、表 4 には実施例 1 の磁気記録媒体の測定結果も併記する。表 4 に示すように、本発明の要件を満たす実施例 1、実施例 14～16 の磁気記録媒体はいずれもエラーレート、熱減磁特性に優れるものであった。その一方で軟磁性膜の飽

和磁束密度が小さく、本発明の要件を満たさない実施例 13 の磁気記録媒体は、垂直磁性膜の表面の磁化の揺らぎを抑える効果が弱いために熱減磁特性に劣るものであった。

【0064】

【表 4】

| | Bs (T) | t (nm) | 再生出力 (μ V) | エラーレート (10^*) | 熱減磁 (%/decade) |
|--------|-----------|-----------|--------------------|----------------------|-------------------|
| 実施例 1 | 1.2 | 2.0 | 1820 | -6.8 | 0.45 |
| 実施例 13 | 0.3 | 8.0 | 1660 | -6.0 | 1.18 |
| 実施例 14 | 0.4 | 6.0 | 1680 | -5.8 | 0.76 |
| 実施例 15 | 2.0 | 1.2 | 1800 | -6.5 | 0.45 |
| 実施例 16 | 2.4 | 1.0 | 1820 | -6.6 | 0.46 |

【0065】<実施例 17>次に、軟磁性膜表面を酸化することによる効果を明らかにするために、実施例 17 として 89Co-4Zr-7Nb ターゲットを用いて軟磁性膜を 2nm 成膜した後、酸素分圧 0.05Pa のアルゴン-酸素混合ガス雰囲気下に保持して軟磁性膜の表面を酸化させ、その後保護膜として CVD 法により DLC 膜を 5nm 成膜して磁気記録媒体を作製した。尚、上記以外の構成および作製工程は上記実施例 1 と同様である。

【0066】この磁気記録媒体について上記実施例 1 と同様の方法により記録再生特性を評価した結果を表 5 に

示す。尚、表 5 には比較として軟磁性膜の表面が酸化されていない実施例 1 の磁気記録媒体の評価結果が併記されている。表 5 に示すように、軟磁性膜の表面を酸化させた実施例 17 の磁気記録媒体は、熱減磁特性は実施例 1 と同等であり、かつエラーレートは実施例 1 の磁気記録媒体よりも優れたものであった。これは、酸化処理により軟磁性膜表面近傍の磁化の揺らぎが抑えられ、媒体ノイズが低減された効果といえる。

【0067】

【表 5】

| | Bs·t (T·nm) | 再生出力 (μ V) | エラーレート (10^*) | 熱減磁 (%/decade) |
|--------|----------------|--------------------|----------------------|-------------------|
| 実施例 1 | 2.4 | 1820 | -6.8 | 0.45 |
| 実施例 17 | 2.4 | 1800 | -7.5 | 0.46 |

【0068】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明の磁気記録媒体は、少なくとも非磁性基板と、該非磁性基板上に形成された軟磁性地下膜と、配向制御膜と、垂直磁性膜とを備える磁気記録媒体において、前記配向制御膜と垂直磁性膜は、1 層以上の hcp 構造または fcc 構造からなる層を含み、前記垂直磁性膜上には、軟磁性材料からなる軟磁性膜が形成されており、該軟磁性膜と垂直磁性膜とが交換結合している構成としたので、前記垂直磁性膜表面の磁化の揺らぎを抑え、垂直磁性膜の磁化を安定化することができる。従って、本発明によれば、優れた耐熱減磁特性を備える磁気記録媒体を提供することができる。

【0069】また、上記の磁気記録媒体において前記軟磁性膜の飽和磁束密度 Bs (T) と、膜厚 t (nm) の積 Bs·t (T·nm) を、0.5 以上 7.2 (T·nm) 以下の範囲、好ましくは 0.5 以上 3.6 (T·nm) 以下の範囲とするならば、前記垂直磁性膜からの再生出力を増大させることができるとともに、耐熱減磁特性を向上させることができる。また、上記の磁気記録媒体において前記軟磁性膜の飽和磁束密度を、0.4 T 以

上とするならば、ノイズ特性を悪化させることなく前記軟磁性膜による耐熱減磁特性の向上効果を得ることができる。また、上記の磁気記録媒体において、前記軟磁性膜の膜厚を、0.5nm 以上 5nm 以下、好ましくは 0.5nm 以上 3nm 以下とするならば、再生出力、耐熱減磁特性ともに優れた磁気記録媒体を提供することができる。

【0070】次に、上記の磁気記録媒体において前記軟磁性膜の垂直磁性膜と反対側の表面の一部または全面が、酸化されている構成とするならば、媒体ノイズの一因となる前記軟磁性膜の表面における磁化の揺らぎを抑えることができるので、ノイズ特性に優れた磁気記録媒体を提供することができる。

【0071】次に、上記の磁気記録媒体において、前記軟磁性膜の直上に保護膜が設けられており、該保護膜が CVD 法またはイオンビーム法によって形成されてなる構成とするならば、保護膜の膜厚を薄くして情報の高密度の記録再生ができるようになるとともに、この種の保護膜の表面に滞留する電荷による垂直磁性膜の磁化の不安定化を前記軟磁性膜が防止するので、耐熱減磁性に優れた磁気記録媒体とすることができる。

【0072】次に、本発明の磁気記録媒体の製造方法は、非磁性基板上に、少なくとも軟磁性下地膜と、配向制御膜と、磁化容易軸が前記非磁性基板と主に垂直に配向した垂直磁性膜とを成膜法により積層形成する磁気記録媒体の製造方法であって、前記垂直磁性膜上に軟磁性材料からなる軟磁性膜を形成する工程を含む構成としたので、耐熱減磁特性に優れた磁気記録媒体を容易に製造することができる。

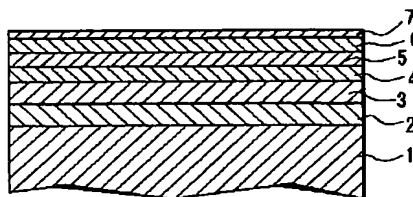
【0073】次に、上記の磁気記録媒体の製造方法において、前記軟磁性膜を形成した後、該軟磁性膜の表面を酸化させる工程を含む構成とするならば、前記軟磁性膜の表面近傍における磁化の揺らぎを抑えてノイズ特性に優れた磁気記録媒体を容易に製造することができる。

【0074】次に、本発明の磁気記録再生装置は、磁気記録媒体と、該磁気記録媒体に対して情報の記録再生を行う磁気ヘッドとを備え、磁気記録媒体が、非磁性基板と、磁化容易軸が前記非磁性基板と主に垂直に配向した垂直磁性膜とを備え、前記基板と垂直磁性膜との間に該垂直磁性膜の配向を制御するための配向制御膜と、再生波形の形状を制御するための軟磁性下地膜とが設けられており、前記垂直磁性膜上に軟磁性材料からなる軟磁性膜が成膜されてなる構成としたので、高出力であるとともに耐熱減磁性に優れた、高密度の記録再生が可能である。また、前記軟磁性膜の直上に保護膜が設けられており、該保護膜がCVD法またはイオンビーム法によって形成されてなる構成とするならば、垂直磁性膜と磁気ヘッドとのスペーシングを小さくすることができるので、より高記録密度での情報の記録再生が可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 図1は、本発明の一実施の形態である磁気記

【図1】



録媒体の断面構造を模式的に示す図である。

【図2】 図2は、一般的な単磁極ヘッドの側面模式図である。

【図3】 図3(a)は、配向制御膜と、軟磁性膜と、保護膜のみを成膜した磁気記録媒体の基板垂直方向のM-H曲線であり、図3(b)は、基板面内方向のM-H曲線である。

【図4】 図4(a)は、配向制御膜と、垂直磁性膜と、保護膜のみを成膜した磁気記録媒体の基板垂直方向のM-H曲線であり、図4(b)は、基板面内方向のM-H曲線である。

【図5】 図5(a)は、垂直磁性膜と軟磁性膜が交換結合している磁気記録媒体の基板垂直方向のM-H曲線であり、図5(b)は、基板面内方向のM-H曲線である。

【図6】 図6(a)は、垂直磁性膜と軟磁性膜が交換結合していない磁気記録媒体の基板垂直方向のM-H曲線であり、図6(b)は、基板面内方向のM-H曲線である。

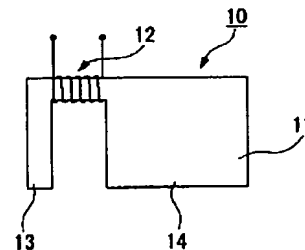
【図7】 図7(a)は、飽和磁化(M_s)と、残留磁化(M_r)の比 M_r/M_s が1より小さい磁気記録媒体の基板垂直方向のM-H曲線であり、図7(b)は、基板面内方向のM-H曲線である。

【図8】 図8は、本発明に係る磁気記録再生装置の構成の一例を示す模式断面図である。

【符号の説明】

1・・・(非磁性)基板、2・・・軟磁性下地膜、3・・・配向制御膜、4・・・垂直磁性膜、5・・・軟磁性膜

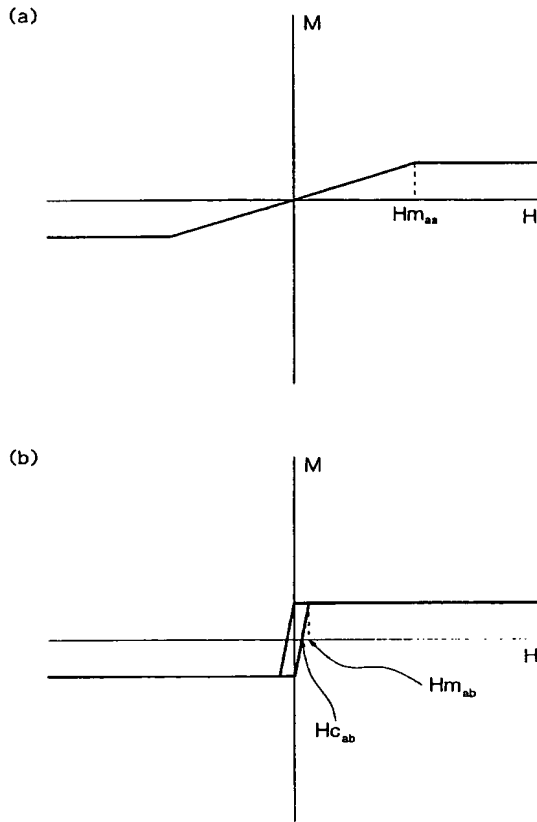
【図2】



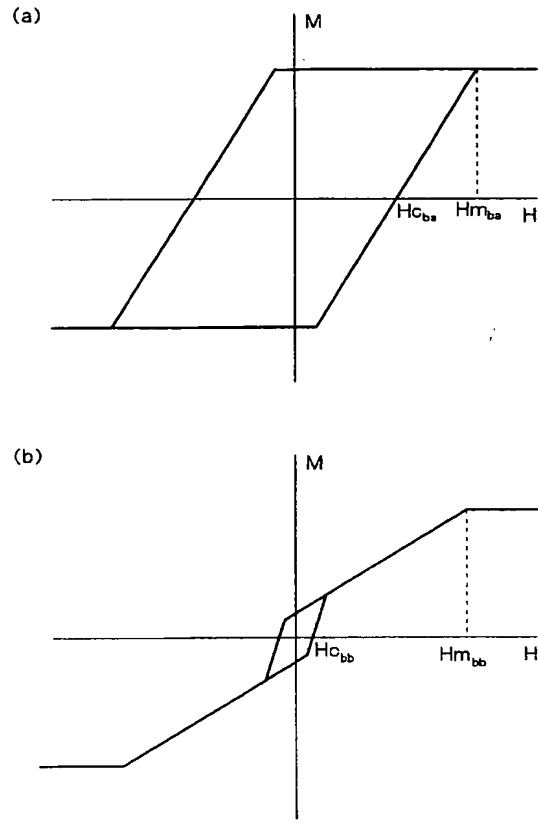
(14)

特開2002-197635

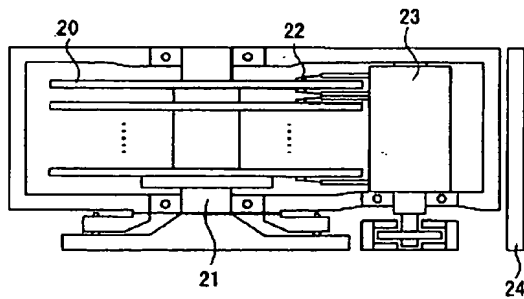
【図3】



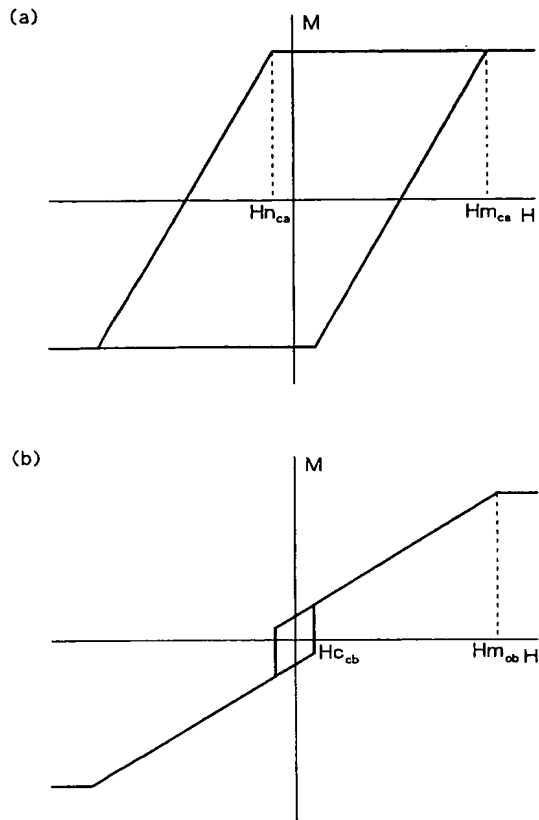
【図4】



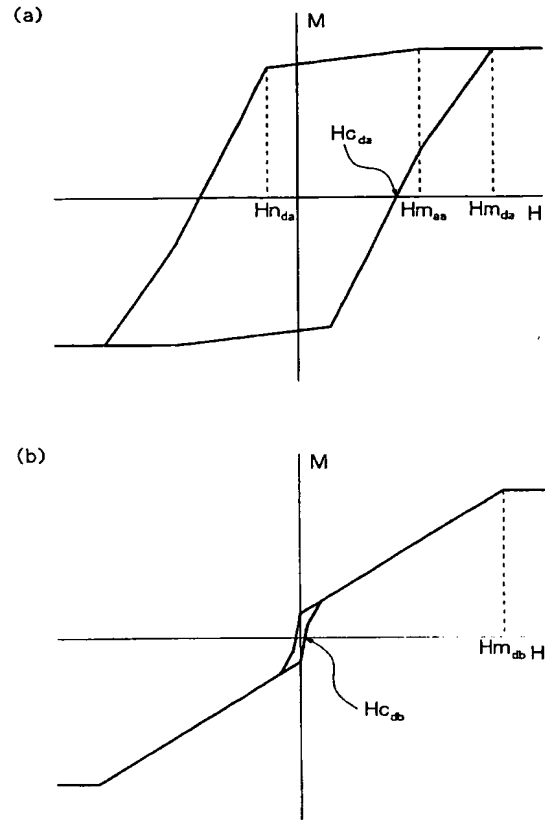
【図8】



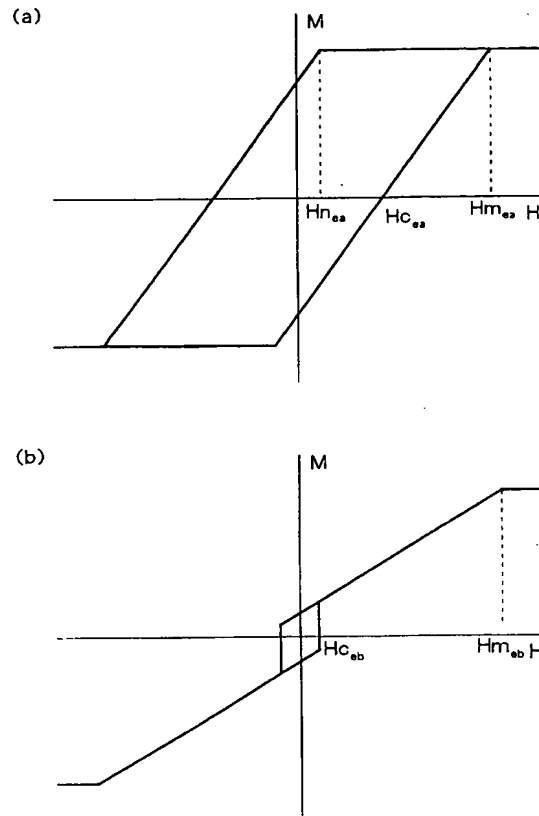
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁷

G 1 1 B 5/851

識別記号

F I

G 1 1 B 5/851

テーマコード(参考)

(72) 発明者 楊 輝

千葉県市原市八幡海岸通5番の1 昭和電
工エイチ・ディー株式会社内

(72) 発明者 坂脇 彰

千葉県市原市八幡海岸通5番の1 昭和電
工エイチ・ディー株式会社内

F ターム(参考) 5D006 AA05 BB01 BB05 BB07 BB08

CA03 CA06 FA09

5D112 AA07 BC01 GA17